



ISSN:1306-3111
e-Journal of New World Sciences Academy
2008, Volume: 3, Number: 1
Article Number: A0045

NATURAL AND APPLIED SCIENCES
CIVIL ENGINEERING

Received: October 2007
Accepted: December 2007
© 2008 www.newwsa.com

Bahar Demirel
Betül Bektaş Ekici
University of Firat
bdemirel@firat.edu.tr
Elazığ-Türkiye

**ÖĞÜTÜLMÜŞ POMZANIN BETON BASINÇ DAYANIMINA ETKİSİNİN
YAPAY SİNİR AĞI İLE BELİRLENMESİ**

ÖZET

Yapılan çalışmada; çimento inceliğinde öğütülen bazik karakterli pomza agregasının ve silis dumanının betonun basınç dayanımı üzerinde yaptığı etki yapay sinir ağları (YSA) ile modellenmiştir. Çimento, pomza, silis dumanı ve kür yaşı parametrelerinden oluşan ve farklı alternatiflerle oluşturulmuş eğitim seti kullanılmıştır. Bu amaçla ilk olarak Elazığ yöresinden temin edilen bazik karakterli pomza agregası çimento inceliğinde öğütülmüştür. Bu öğütülen pomza, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında çimento ile yer değiştirerek karışımlara ilave edilmiştir. Ayrıca, pomza ile birlikte silis dumanının da etkisini gözlemek amacıyla bu serilere ek olarak %10 silis dumanı katkılı seriler de hazırlanmıştır. Kür yaşının etkisi ise 3, 7, 28 ve 90 günlük seriler hazırlanarak incelenmiştir. Ağ yapısı olarak, geri yayımlı yapay sinir ağı tercih edilmiştir. Veriler normalize edilerek ağa sunulmuştur. Modelleme MATLAB paket programının ANN toolbox'ı ile yapılmıştır. Ağdan elde edilen çıkışlar ile deneysel çalışma sonucu bulunan basınç dayanımı değerleri karşılaştırılmış ve YSA'nın %98 oranında başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Beton, Pomza, Silis Dumanı, YSA

**DETERMINATION OF THE EFFECTS OF GROUNDED PUMICE ON COMPRESSIVE STRENGTH
OF CONCRETE WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS**

ABSTRACT

In this study, the effect of grounded pumice aggregate and silica fume on compressive strength of concrete was modelled with artificial neural networks (ANN). A training set consist of cement, pumice, silica fume and curing age used for ANN. With this aim, pumice of Elazığ region was ground up on the cement thinness. This grounded pumice was added the mixture by replacing with cement %5, %10, %15 ve %20 in weight. In addition these series, the series with %10 silica fume were prepared to observe the effect of silica fume with pumice. The effect of the curing age was investigated by preparing the 3, 7, 28 and 90 days series. A backpropagation neural network is preferred. Data presented to network by being normalized. ANN applications were carried out with ANN toolbox of MATLAB computer program. The outputs of the network and the compressive strength values obtained from experimental studies were compared. As a result it was seen that ANN gives successful results with ratio of 98%.

Keywords: Concrete, Pumice, Silica Fume, ANN



1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ülkemiz dünyanın en zengin pomza yataklarının bulunduğu ülkeler arasında (3 milyar m³ rezerve sahip) yer almaktadır. Pomzanın kullanım alanları içerisinde en önemli yer tutanı, hafif beton üretiminde agrega olarak kullanılmasıdır. Betonarme yapılarda kullanılan normal betonun birim ağırlığının fazla olması, büyük açıklıkların geçilmesinde ve yüksek yapıların inşasında önemli sorunlar oluşturabilmektedir. Ayrıca geleneksel betonun kullanıldığı yapılar, ölü yüklerinin fazla olması nedeniyle depremden daha fazla etkilenmektedirler [1]. Son yıllarda çimento üretiminde kullanılan yakıt fiyatlarındaki yükselmeler çimento maliyetini yükseltmiş olup, üretici firmaların puzolanlara yönelmelerine neden olmuştur [2]. Pomza, birim ağırlığının düşük olması nedeniyle hafif beton üretiminde kullanılmakla beraber öğütüldüğünde doğal puzolan olma özelliğiyle de çimentoda katkı maddesi olarak kullanılmaktadır.

Silikon metalinin veya silikonlu metal alaşımların üretimi sırasında ortaya çıkan gazın hızlı soğutulmasıyla yoğunlaştırılması sonucunda elde edilen ve %85-98 kadar silis içeren bir malzeme olan silis dumanı da bir diğer mineral katkıdır. Doğal puzolanların portland çimentosu ile belirli oranlarda yer değiştirerek, betonun dayanımına yaptığı katkıyı inceleyen çalışmalar yapılmış ve puzolanik aktivitenin ilerleyen kür yaşlarında ortaya çıktığı, fakat çimentonun azalmasından kaynaklanan bir dayanım düşmesinin de olabileceği görülmüştür [3 ve 4]. Bu dayanım düşmesi silis dumanı katkılı betonlarda fazla rastlanmayan bir durumdur. Silis dumanı, çimentodan daha ince bir malzeme olması nedeniyle agrega-hamur ara yüzey bölgesini doldurup kuvvetlendirerek boşluğu en aza indirmekte ve betonun basınç dayanımını arttırmaktadır. Ayrıca silis dumanı, betonda ayrışmayı önleyerek homojenliği iyileştirmektedir [5].

Son yıllardaki teknolojik gelişmelerle birlikte yapay zeka teknikleri, özellikle optimizasyon problemlerinde klasik yöntemlerden çok daha tatmin edici sonuçlar vermiştir. Yapay sinir ağları (YSA) ileri yapay zekâ tekniklerinin en popüler dallarından biridir. Biyolojik sinir hücrelerinin simüle edilmiş bir modeli olarak tanımlanan YSA, insan beyninin anlama, öğrenme, fikir yürütme gibi yeteneklerini de taklit edebilmektedir. Karmaşık problemleri modelleyebilmekteki başarısı nedeniyle mühendislik problemlerinde geniş kullanım alanı bulmuştur.

Çimentonun basınç mukavemetinin yapay sinir ağları yoluyla modellendiği bir çalışmada 28 günlük betonun basınç mukavemeti ileri doğru beslemeli birçok katmanlı sinir ağı yoluyla tahmin edilmiştir [6]. Yapılan diğer bir çalışmada ise çimento harcının basınç mukavemeti benzeri bir model kullanılarak modellenmiş ve yapay sinir ağının oluşturulmasında 6 aylık fabrika verileri kullanılmıştır [7]. İnce [8]; YSA'nın betonun kırılma problemlerine uygulanmasını araştırmıştır. Ji-Zong ve diğ.[9]; beton karışımı tasarımı için YSA tabanlı otomatik bir bilgi çıkarım sistemi oluşturmuşlardır. Sistem, karışım tasarımı, slump-tahmini ve basınç dayanımı-tahmini olmak üzere üç modelden oluşmaktadır. YSA'nın bu üç model için de kullanılabilen ve beton mühendislerine fayda sağlayacak bir karar verme aracı niteliğinde olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Hala ve Schabowicz [10]; YSA ile beton basınç dayanımı tahmininin uygulanabilir bir metot olduğunu göstermişlerdir. Ji ve diğ. [11]; betonun basınç dayanımı ve slump değerlerini, su-çimento oranı, eşdeğer su-çimento oranı, ortalama harç kalınlığı, uçucu kül-bağlayıcı oranı ve ince agreganın hacim oranı parametrelerine bağlı olarak YSA ile modellemişlerdir. Bunun sonucunda, YSA'nın farklı bölgelerde bulunan hazır beton santrallerinde üretilen beton karışımlarının hazırlanmasında

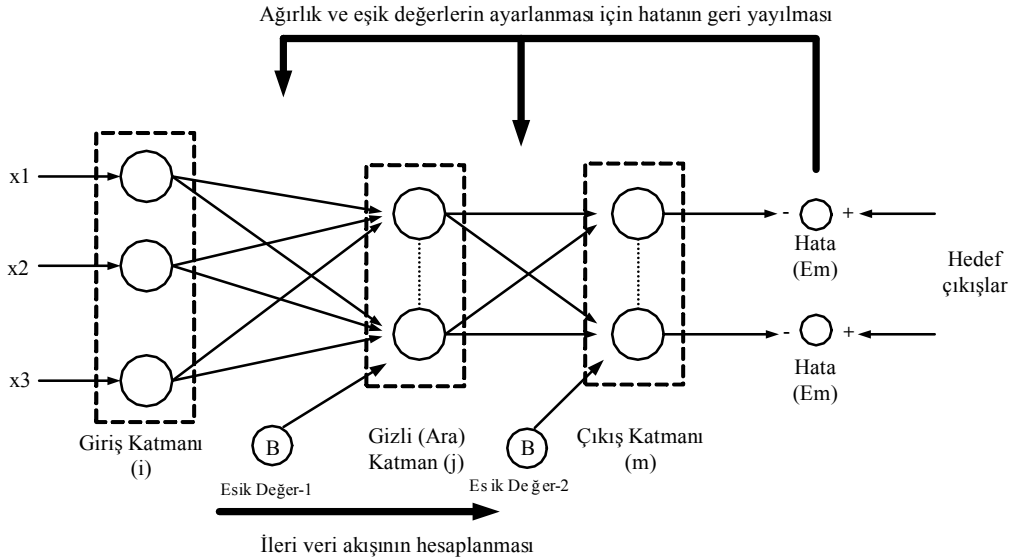
kullanılabilecek bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan diğer bir çalışmada, çimento pastasının mikroyapısının değişimini hidrasyon ürünlerinin değişiminin bir fonksiyonu olarak tanımlayan bir hidrasyon modeli sunulmuştur [12].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNICANCE)

Sunulan bu modeli kullanarak sertleşmiş çimentonun hidrasyon derecesi, bağıl nem ve toplam porozite gibi özellikler çok kolay ve kısa sürede belirlenebilir. Yapılmış olan bu çalışmada ise; öğütülmüş bazik karakterli pomza ve silis dumanının çimento ile belirli oranlarda yer değiştirilerek kullanılmasıyla betonun basınç dayanımı üzerinde oluşan etki, yapay sinir ağları (YSA) ile modellenmiştir. Çalışma, YSA'nın farklı bilimlerde yeni modeller oluşturulabilmesi hususu bakımından önemlidir. Bu konuda yapılacak farklı alan çalışmalara ışık tutması beklenilebilir.

3. YAPAY SİNİR AĞLARI (ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS)

Çok değişkenli lineer olmayan problemlerin değerlendirilmesinde kullanılan bağıl yarışmacı bir araç olan YSA tekniği insan beyninin biyolojik sistemini taklit eden bir bilgi işleme sistemidir [11]. Ağırlıklara sahip bağıntılarla herbiri kendi hafızasına sahip işlem birimlerinden oluşan paralel ve dağıtılmış bilgi işleme yapıları olan YSA [13], çok sayıda birbirine bağlı proses elemanı olarak adlandırılan ve benzer karakteristiklere sahip giriş, sinaptik gerilim, aktivasyon, çıkış ve bias gibi nöron ve elemanlardan oluşur [14]. Bu proses elemanları arasında yer alan çok sayıdaki bağıntı ağırlıklarının taşımaktadır. Bir ağırlığın eğitilmesi ağırlıkların, aktivasyon değişkenlerinin ve transfer fonksiyonlarının ayarlanması ile ağırlığın istenilen fonksiyonu gerçekleştirebilmesi şeklinde açıklanabilir. Yapay sinir ağlarının çalışma prensiplerine ait ayrıntılı bilgi pek çok kaynakta açıkça bulunmaktadır [13, 14 ve 15]. Bu durum en açık şekilde Şekil 1'deki diagram ile açıklanabilir.



Şekil 1. ileri beslemeli geri yayılımlı bir sinir ağı mimarisi
(Figure 1. Architecture of a feedforward backpropagation neural network)



Şekilden de görüleceği gibi, ilk olarak girişler ağırlıklarla çarpılarak toplanır, daha sonra bu toplam belirlenen bir aktivasyon (etkinlik) fonksiyonundan geçirilerek çıkış olarak iletilir. Ağ girişleri, beklenen çıkışları en az hata oranı ile verinceye kadar eğitim süreci devam eder. En az hata çıkıştaki hatanın geriye doğru yayılması ile elde edilir. Eğitim aşaması bittiğinde, sadece giriş verileri kullanılarak ağ test edilir ve beklenen çıkışlara ne kadar doğruluk ile ulaşıldığı kontrol edilir. Eğitim verilerinin tüm örneklerinin eğitilmesi iterasyon olarak bilinir. Eğitim verileri giriş ve çıkış verilerini temsil etmelidir. Giriş katmanındaki k. İşlem elemanının çıktısı;

$$\zeta_k^i = G_k \quad (1)$$

Formülü ile bulunur. Burada G_k giriş katmanındaki k. Giriş katmanı elemanını j. Ara katman elemanına bağlayan bağlantının ağırlık fonksiyonunu gösterir. İleri beslemeli ağırlık bağlantı ağırlıkları genel delta kuralının uygulanması ile eğitim veri kümesindeki giriş ve çıkış örneklerinden türetilir. J. ara katman elemanının çıktısı ise net girdinin etkinleştirme fonksiyonundan geçirilmesi ile hesaplanır. Etkinleştirme fonksiyonunun sigmoid fonksiyonu olması durumunda çıktılar;

$$\zeta_j^a = \frac{1}{1 + e^{-(NET_j^a + \beta_j^a)}} \quad (2)$$

şeklinde olur. Burada B_j . ara katmanda bulunan j. elemana bağlanan eşik değer elemanının ağırlığını göstermektedir. Çıkış elemanındaki m. İşlem elemanı için oluşan hata;

$$E_m = B_m - \zeta_m \quad (3)$$

ile ifade edilir. Burada ζ_m ve B_m sırası ile ağa sunulan giriş için ağın ürettiği çıkış ile ağın beklenen çıkışlarıdır. Çıkış katmanı için oluşan toplam karesel hata (SSE) ise;

$$SSE = \frac{1}{2} \sum_m (E_m)^2 \quad (4)$$

formülü ile bulunur. Bu çalışmada performans kriteri olarak çoğu çalışmada olduğu gibi ortalama karesel hata (MSE) kullanılacaktır. MSE, toplam karesel hatanın örnek sayısına bölünmesiyle elde edilir.

$$MSE = SSE / N = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^N \frac{1}{2} (E_m)^2 \quad (5)$$

Hata değerinin sifıra yakınlığı, yapay sinir ağı tarafından hesaplanan çıkışların beklenen çıkışlarla uyduğunu ve ağın iyi eğitildiğini göstermektedir. Geri yayımlı eğitim başlangıçta tüm düğümlerde ağırlıklara rasgele değerler atayarak yapılır. Eğitim verileri her zaman ağa gösterilir ve her düğüm için etkileştirme fonksiyonu hesaplanır. Ara katmandaki j. işlem elemanını çıkış katmanındaki m. İşlem elemanına bağlayan bağlantının t. iterasyonda ağırlığının değişim miktarı ΔA_{jm}^a ;

$$\Delta A_{jm}^a(t) = \lambda \delta_m \zeta_j^a + \alpha \Delta A_{jm}^a(t-1) \quad (6)$$

formülü ile hesaplanır. Burada λ öğrenme katsayısı, α momentum katsayısı ve δ_m ise m. Çıkış biriminin hatasını göstermektedir ve aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir.

$$\delta_m = \zeta_m (1 - \zeta_m) E_m \quad (7)$$



4. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

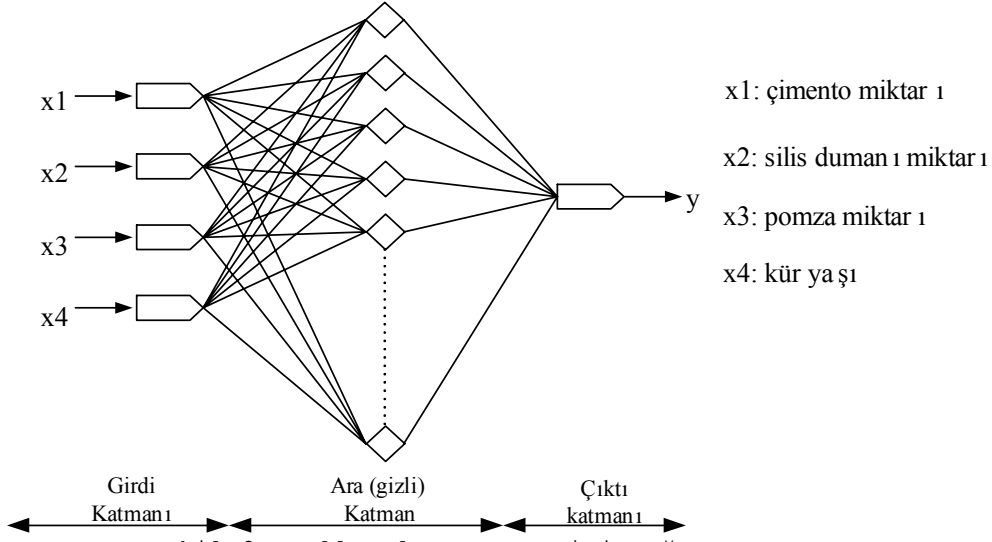
Bu çalışmada, puzolanik katkı maddesi olarak kullanılan pomzanın ileri kür yaşlarında beton basınç dayanımına etkisinin araştırıldığı Yazıcıoğlu ve Demirel'in çalışmasından elde edilen sonuçlar. YSA ile modellenmiş ve deney verileri ile karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmada, hidrasyona girebilmesi için pomza agregası öğütülerek %5, %10, %15 ve %20 oranlarında çimento ile yer değiştirilerek betona ilave edilmiş ve farklı seriler oluşturulmuştur. Ayrıca silis dumanının basınç dayanımına yaptığı katkıyı gözleyebilmek için de kontrol betonu hariç tüm serilere, %10 silis dumanı ilave edilerek ikinci bir seri daha hazırlanmıştır. Tüm serilerin kür yaşına bağlı basınç dayanımı değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

YSA'nın eğitimi ve test edilmesi aşamaları için gerekli olan veri kümesi, Tablo1'de verilmiş olan kür yaşına bağlı olarak bulunmuş basınç dayanımı değerlerinden meydana getirilmiştir.

Tablo 1. Her seri için kür yaşına göre basınç dayanımının değişimi
(Table 1. The Changing of compressive strength for each series according to the curing age)

Seri	Bağlayıcılar			Basınç Dayanımı (MPa)			
	Kütlege (%)			Kür yaşı			
	Çimento	Pomza	Silis Dumanı	3.Gün	7.Gün	28.Gün	90.Gün
K	100	-	-	25,88	41,62	57,21	62,70
E1	95	5	-	22,00	40,14	54,54	62,28
E2	90	10	-	20,44	36,61	50,30	62,09
E3	85	15	-	19,58	35,08	49,87	61,94
E4	80	20	-	18,62	29,58	46,78	60,78
ES1	85	5	10	30,64	44,38	58,33	67,35
ES2	80	10	10	25,97	43,54	57,00	64,84
ES3	75	15	10	25,17	39,82	55,45	63,31
ES4	70	20	10	24,95	36,21	52,67	62,98

Betonun 3, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı değerlerinin; çimento miktarı, silis dumanı, pomza ve kür yaşı gibi parametrelerle tahmin edilebilmesi amacıyla Şekil 2'de gösterilen 4-20-1 mimarisinde, ileri beslemeli ve geri yayımlı bir yapay sinir ağı tasarlanmıştır. Ağın eğitiminde, literatürde başarılı sonuçlar verdiği belirtilen Levenberg-Marquardt eğitim fonksiyonu kullanılmıştır [16]. Giriş, ara ve çıkış katmanlarının transfer fonksiyonları sırasıyla; tanjant sigmoid, tanjant sigmoid ve lineer olarak belirlenmiştir. Uygulamada 25 nörona sahip bir ara (gizli) katman mevcuttur. Ağın öğrenme oranı ise %90 olarak seçilmiştir. Ağın yapısı MATLAB paket programında oluşturulmuştur [17].

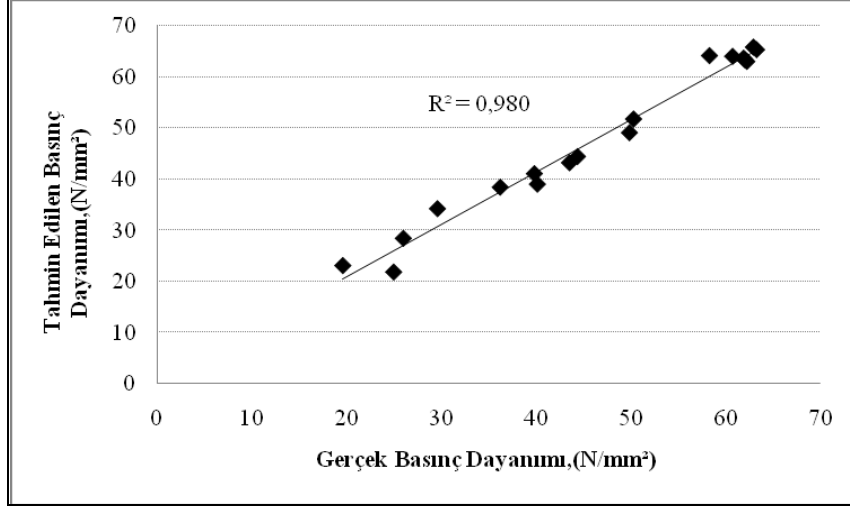


Şekil 2. Kullanılan Yapay Sinir Ağının Yapısı
(Figure 2. The structure of the artificial neural network)

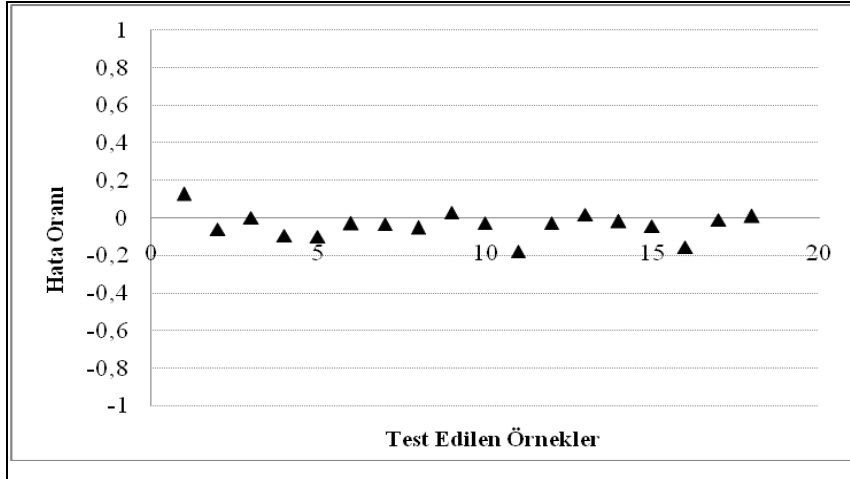
5. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME (FINDINGS AND DISCUSSION)

Çalışmada kullanılan ileri beslemeli geri yayıllımlı sinir ağı veri deney sonuçlarında elde edilen veri kümesi için 10^{-3} hata değeri için eğitilmiş ve test edilmiştir. YSA'dan elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde kullanılan çoklu bağıntı katsayısı değeri olan R^2 , bağımsız ve bağımlı değişkenler arasındaki ilişkinin bir ölçüsü olarak tanımlanmaktadır [18]. 0 ile 1 arasında değer alan R^2 çoklu regresyon analizinde bağımlı değişkenlerin tahminin kalitesini değerlendirmek için kullanılır [19]. Bilindiği gibi R^2 'nin 1'e yakın olması sonuçları o denli yüksek doğrulukta olduğunu ve bağımsız ve bağımlı değişkenler arasındaki ilişkinin lineer olduğunu gösterir. Bu değer 0 olması ise, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında lineer bir ilişki olmadığı anlamına gelir [18].

Test aşaması daha önceden ağa gösterilmemiş olan verilerle gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'te beton numunelerinin basınç dayanımlarına ait gerçek ve tahmin edilen değerler verilmiş ve R^2 %98 oranında doğru sonuçlar elde edilmiştir. Literatürdeki çalışmaların R^2 değerlerine bakıldığında, %79.4-%99.9 değerleri arasında başarılı sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Bu nedenle yapılan çalışmanın sonuçları kabul edilebilir değer aralığında yer almaktadır.

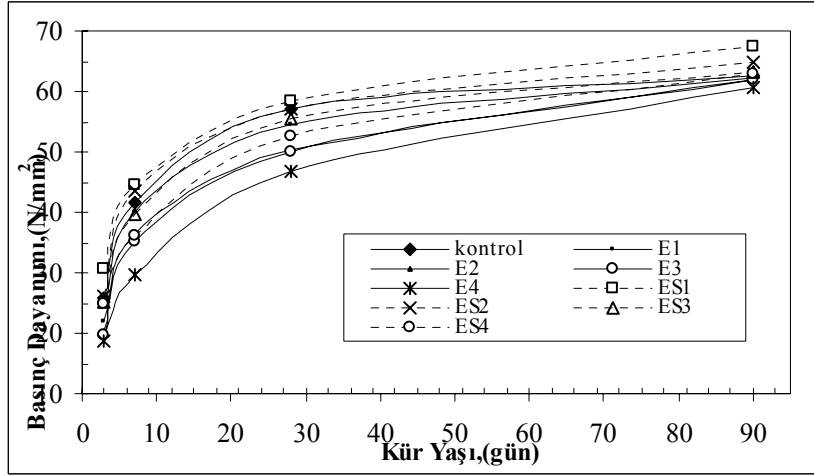


Şekil 3. Tahmin edilen basınç dayanımı değerleri ile gerçek değerlerin karşılaştırılması
(Figure 3. The comparison of the estimated compressive strength values with the actual values)



Şekil 4. Tahmin edilen basınç dayanımı değerlerinin hata oranları
(Figure 4. The error ratios of the estimated compressive strength values)

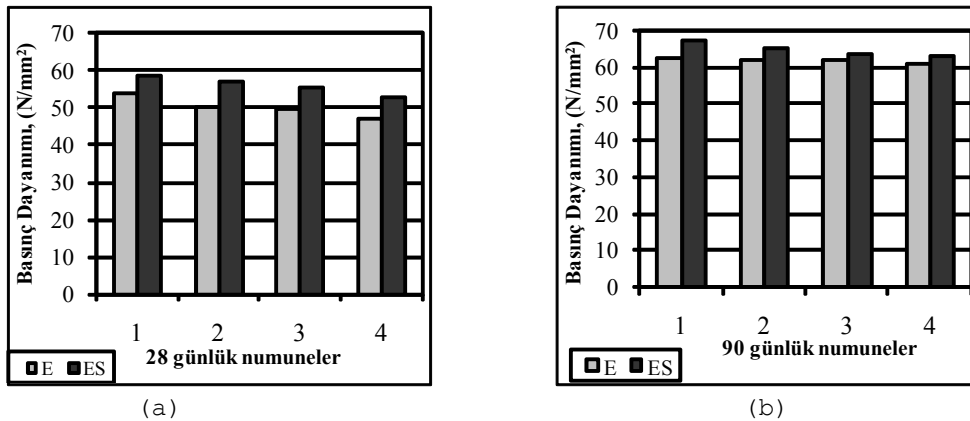
Eğitilen ağ kullanılarak test edilen verilere ait sonuçlarla birlikte beton harcındaki çimento, silis dumanı ve pomza içerikleri ile kür yaşına bağlı olarak her seri beton için 3, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları grafik olarak ise Şekil 6'da verilmektedir. Yapılmış olan deneysel çalışmanın sonucunda kür yaşına bağlı olarak her seri için basınç dayanımı değerleri Şekil 6'da verilmektedir. Burada, sadece pomza katkısı ile üretilmiş olan E1, E2, E3 ve E4 tipi betonların basınç dayanımlarının çimento miktarındaki azalmadan dolayı [3], kontrol betonuna göre daha düşük olduğu görülmektedir. Ancak kür yaşı arttıkça, bu düşmenin azalarak, çok küçük değerlere ulaştığı dikkati çekmektedir. 28 gün kür edilmiş E4 numunesinin dayanımı, kontrol betonuna göre %18,23 azalırken, 90 gün küre tabi tutulmuş numunede bu değer %3,06 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5. Kür yaşına göre tüm serilerin beton basınç dayanımları
(Figure 5. The compressive strengths of all series according to curing age)

Bu durum pomzanın, puzolanik aktivitesini ileri kür yaşlarında göstermesinden kaynaklanır. Puzolanlar, betonda klinkerin hidrasyonundan oluşan $Ca(OH)_2$ ile tepkime verirler. Bu sebeple betona karışım suyu ilavesinden itibaren bir süre ortamda $Ca(OH)_2$ birikene kadar portland çimentosunu seyreltici bir etki yaparlar. Fakat zamanla ortamda $Ca(OH)_2$ birikmesi puzolanların da sistemin dayanımını arttıran etkilerinin ortaya çıkmasını sağlar. Bu sebeple, Portland çimentosu-puzolan karışımı içeren betonlar aynı incelikteki Portland çimentosu içeren betonlara göre daha uzun süreli küre ihtiyaç duyarlar [20].

Karışımında pomza mevcut iken, katılan silis dumanının basınç dayanımına yaptığı katkı 28 ve 90 günlük dayanımlar için, sırasıyla Şekil 7 (a) ve (b)'de daha açık bir şekilde verilmektedir. 28 günlük numunelerde silis dumanı basınç dayanımlarını ortalama %11,5 arttırırken; bu oran 90 günlüklerde %4,6 olarak bulunmuştur. Bu, silis dumanının erken yaşlarda özellikle 28 güne kadar betonun dayanımı üzerinde daha etkili olmasından kaynaklanmaktadır [21].



Şekil 6. Silis dumanının basınç dayanımına yaptığı katkı
(Figure 6. The contribution of silica fume on compressive strength)



6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Çalışmadan elde edilen sonuçlar ile laboratuvar ortamında elde edilen deneysel verilere ait sonuçlar karşılaştırıldığında kullanılan YSA'nın betonun basınç dayanımı üzerinde çimento miktarı, pomza ve silis dumanı ile kür yaşının etkilerini modelleyebilecek nitelikte olduğu görülmüştür. Beton basınç dayanımı üzerinde farklı malzemelerin etkilerinin incelenmesi laboratuvar ortamında oldukça külfetli bir iştir. Farklı oranlardaki malzemelerle üretilecek olan betonun basınç dayanımı değerlerinin kullanılacağı yere göre önceden tahmin edilebilmesi uygulamada gereklidir. Daha az malzeme daha az işgücü ve zaman harcayarak istenilen bu verilere ulaşılabilmesi için yapay zekâ tekniklerinden en yaygın olanı yapay sinir ağlarının, bu alanda da güvenle kullanılabilir önemli bir araç durumunda olduğu, yapılan bu çalışma ile de desteklenmiştir.

Bu çalışmada kullanılan parametrelerin dışında farklı malzemelerle oluşturulacak beton numunelere ait diğer birtakım değerler, çok az bir bilgi girişi ile çok daha kısa sürede ve ekonomik olarak modellenilebilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Çankıran, O., (1998). Pomza Agregalı Hafif Betonun Mekanik Özellikleri ve Kimyasal Katkılarla Dayanımının Arttırılması. Yüksek Lisans Tezi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
2. Ersoy, A., Atıcı, U. ve Yünsel, T.Y., (2005). Pomzanın Çimento Sanayinde Katkı Maddesi Olarak Kullanımı. Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi 2005, Isparta, Türkiye, ss:105-111.
3. Mehta, P.K., (1981). Studies On Blended Portland Cements Containing Santorin Earth. Cement and Concrete Research, Volume:4, pp:507-518.
4. Khandaker, M. and Hossain, M.A., (2003). Properties of volcanic pumice based cement and lightweight concrete. Cement and Concrete Research, Volume:34, pp:283-290.
5. Khayat, K.H. and Aitcin, P.C., (1992). Silica Fume in Concrete: an Overview. ACI SP-132, pp.835-865, ACI, Detroit.
6. Hong-Guang, N. and Ji-Zong, W., (2000). Prediction of compressive strength of concrete by neural networks, Cement and Concrete Research, Volume:30, pp:1245-1250.
7. Akkurt, S., Ozdemir, S., Tayfur, G., and Akyol, B., (2003). The use of GA-ANNs In the modeling of compressive strength of cement mortar. Cement and Concrete Research, 33, pp:973-979.
8. Ince, R., (2004). Prediction of Fracture Parameters of Concrete by Artificial Neural Networks. Engineering Fracture Mechanics, Vol.71, pp:2143-2159.
9. Ji-Zong, W., Hong-Guang, N., and Jin-Yun, H., (1999). The Application of Automatic Acquisition of Knowledge to Mix Design of Concrete. Cement and Concrete Research, Vol:29, pp:1875-1880,.
10. Hola, J., Schabowicz, K., (2005). New technique of nondestructive assessment of concrete strength using artificial intelligence. NDT&E International, Volume:38, pp:251-259.
11. Ji, T., Lin, T., and Lin, X., (2006). A concrete mix proportion design algorithm based on artificial neural networks, Cement and Concrete Research, Vol:36, pp:1399-1408.
12. Park, K., Noguchi, T., and Plawsky, J., (2005). Modeling of hydration reactions using neural Networks to predict the average properties of cement paste, Cement and Concrete Research, Volume:35, pp:1676-1684.



13. Elmas, Ç., (2003). Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama). Seçkn Yayıncılık, Ankara, Türkiye.
14. Singh, T. N., Sinha, S., and Singh, V.K., (2007). Prediction of Thermal Conductivity of Rock Through Physico-Mechanical Properties. Building and Environment, Volume:42, pp:146-155.
15. Öztemel, E., (2003). Yapay Sinir Ağları. Papatya Yayıncılık, İstanbul, Türkiye.
16. Hoekstra, A., (1998). Generalisation in feed-forward neural classifiers. PhD Thesis, Delft Technical University, Delft, Hollanda.
17. Demuth, H., Beale, M., and Hagan, M., (2006). Neural Network Toolbox 5, User's Guide, The Mathworks Inc.
18. İnternet:<http://mtsu32.mtsu.edu:11308/regression/level3/multicorrel/multicorrcoef.htm>. (Erişim tarihi:25/06/2007)
19. İnternet:<http://www.utdallas.edu/~herve/Abdi-MCC2007-pretty.pdf>. (Erişim tarihi: 25/06/2007).
20. TÇMB/AR-GE Enstitüsü, (2003). Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Araştırmaların Gözden Geçirilmesi ve Durum Değerlendirmesi Raporu; Traslar ve Traslı Çimentolar. Ankara, Türkiye.
21. Mazloom, M., Ramezaniapour, A.A., and Brooks, J.J., (2004). Effect of silica fume on mechanical properties of high-strength concrete. Cement and Concrete Composites, Volume:26, pp:347-357.